

RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION EN MAIZ SEGÚN LA FORMA ALGEBRAICA DEL MODELO PREDICTIVO EMPLEADO

B. SUSANA PENA de LADAGA (*)

Recibido: 18-11-88

Aceptado: 8- 5-89

RESUMEN

Se comparan las recomendaciones de fertilización nitrogenada en maíz surgidas de tres diferentes formas algebraicas (cuadrática, raíz cuadrada y polinomial de tercer grado) en dos grupos de ensayos contemporáneos desarrollados en la Pampa Ondulada.

Se concluye que la correcta elección del modelo algebraico, es de mayor importancia que un buen ajuste estadístico. Este último, en oportunidades, conduce a recomendaciones incoherentes si no se toma en consideración la lógica del fenómeno en estudio.

Palabras clave: forma algebraica, producto marginal, dosis óptima, beneficio máximo.

RECOMMENDATIONS ON MAIZE FERTILIZATION ACCORDING TO ALGEBRAIC FORM EMPLOYED IN PREDICTIVE MODELS

SUMMARY

Fertilizer recommendations provided by three different algebraic forms (quadratic, square root and polynomial of third degree) are compared. The adjustments were made in two groups of contemporary trials developed in the region commonly known as "Rolling Pampa".

The election of an algebraic form is more important than a good statistical adjustment. The latter will sometimes give biased recommendations if logic form is not considered.

Key words: algebraic form, marginal product, optimal doses, maximum benefit.

INTRODUCCION

La estimación estadística de la relación existente entre uso de insumos y rinde, requiere la especificación de una determinada forma algebraica de función de producción. Infinitas formas funcionales pueden usarse en estudios de productividad, pero sólo unas pocas son consistentes con cada fenómeno en investigación.

La importancia de la selección de un tipo específico de ecuación, radica en que ella automáticamente impone ciertas restricciones o cantidades óptimas a utilizar del primero. De modo que del conjunto, sólo unas pocas tienen implicancias lógicas que las destacan de las demás habiendo sido ampliamente usadas en estudios de funciones de producción con resultados aceptables (Heady y Dillon, 1961).

(*) Cátedra de Administración Rural de la Facultad de Agronomía de la UBA.
Avda. San Martín 4453. Buenos Aires - Argentina -

Considerando el caso específico del cultivo de maíz, el rendimiento estimado por un modelo predictivo (Y), depende no sólo del nivel de nitrógeno aplicado (N), sino también de varias otras variables, algunas de las cuales pueden ser controladas por el productor en el momento de decidir sobre la alternativa de fertilizar, e identificadas pero no influenciadas (contenido de nitratos, materia orgánica, tipo de suelo). El proceso de producción, puede representarse con un modelo teórico o función de producción como el propuesto por Perrin (1976):

$$Y = f(N, S, A, M, e)$$

donde:

- Y = rendimiento de maíz
- N = cantidad de fertilizante aplicada
- S = tipo de suelo
- A = fertilidad actual del suelo según análisis químico.
- M = condiciones de manejo
- e = error del modelo (efecto de todos los factores no identificados)

Las "funciones de producción predictivas", constituyen un medio muy conveniente para el cálculo de dosis óptimas de fertilizante (Anderson, 1956)

El nitrógeno es un insumo claramente divisible, donde los principios de maximización de beneficios, tanto para situaciones de capital limitante, como no limitante, pueden aplicarse fácilmente.

Dentro de la zona racional de producción (con Producto total creciente, Marginal decreciente, positivo y menor que el Producto medio, y Producto medio, también decreciente) la relación entre rinde y dosis de nitrógeno aplicada, puede aproximarse con varias formas algebraicas. Entre las más frecuentemente usadas figuran la de Mitscherlich o Spillman y Cobb Douglas, que sólo permiten producto total creciente o decreciente, y no presentan máximo, que puede darse cuando el fer-

tilizante se usa en exceso. La forma cuadrática soluciona este último inconveniente, y no requiere de un laborioso proceso iterativo para su estimación (problema que también presenta la función hiperbólica). Es recomendada ampliamente para representar la respuesta al fertilizante, lo mismo que la función Raíz cuadrada (Heady y Dillon, 1961; Anderson y Nelson, 1971; Cady y Laird, 1973). En los casos en que se requiere Producto marginal creciente y decreciente a la vez, la bibliografía se inclina por la forma polinomial cúbica.

El objetivo del presente trabajo es comparar las derivaciones económicas de las funciones más recomendadas para el ajuste de modelos de respuesta al fertilizante (cuadrática, Raíz cuadrada y/o polinomial cúbica) en dos grupos de ensayos desarrollados en la zona núcleo maicera.

MATERIALES Y METODOS

Poblaciones estudiadas

Fueron empleados dos grupos de ensayos. Uno correspondiente a INTA Pergamino, Senigagliese et al., 1984); otro, del Programa de Investigación Experimental sobre Fertilización de maíz, llevado a cabo por la Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes de FAUBA en convenio con diversas empresas públicas y privadas (Barberis, 1985; Pena, 1985). Este último grupo será en adelante mencionadao abreviadamente "FAUBA".

INTA Pergamino estudió como variables predictivas del rinde, las que figuran en el Cuadro N° 1, donde aparecen los valores medios, máximos, mínimos desvíos estándar (G), y coeficiente de variación (C.V.). En el caso de FAUBA, las variables estudiadas fueron numerosas y de ellas se seleccionaron para trabajar, sólo aquellas similares a las de Pergamino (Cuadro N° 2), para que las comparaciones fueran de mayor validez.

La mayor dispersión de partidos ensayados, se da en el caso de INTA Pergamino, pudiéndose esperar en consecuencia, resultados más heterogéneos. Si bien la mayoría de los ensayos se desarrollaron en la zona núcleo maicera, también los hay en partidos considerados marginales para el maíz por su régimen de lluvias, como es el caso de 9 de Julio.

FAUBA con una zona de ensayos de menor superficie, obtiene un rinde medio menor y con mayor dispersión. La dosis media de N aplicado también es menor; ella puede ser una de las causas del menor rinde promedio. El número de ensayos con leguminosa como antecesor, fue algo más elevado. Se aclara que el cultivo antecesor, fue tomado como una variable binaria; puede en consecuencia tomar sólo dos valores, 1 si el cultivo anterior fue una leguminosa y 0 en caso contrario.

Los años de agricultura, nitratos y fósforo del suelo, son muy similares en sus valores medios, aunque más homogéneos en cuanto a la primer variable nombrada, y más heterogéneos en la última (C.V. 54,49 vs 97,75 y 17,97 vs 7,25 respectivamente.)

Ajuste de funciones

En el caso de Pergamino, se ajustaron funciones cuadráticas y raíz cuadrada. Para ello se comenzó con una única variable explicatoria (nitrógeno y nitrógeno al cuadrado, o raíz de nitrógeno según el caso), y fueron siendo adicionadas de a una las restantes variables, con o sin las interacciones de ellas con el nitrógeno, de modo de lograr todas las combinaciones factibles. En FAUBA se hizo lo mismo, con las dos características de la población.

La selección de la curva de mejor ajuste (que caracterice más adecuadamente los datos, y sin variables de importancia tan pequeña que sean despreciables), fue realizada tanto en términos de conocimiento lógico, como desde el punto de vista estadístico.

La cuestión de lógica se tuvo en cuenta en la elección de la forma algebraica. Para testear la adecuación estadística, se consideraron los valores de R^2 ajustado, del estadístico F, el s (desvío estándar) de la regresión y de los coeficientes, valor t calculado y beta de los coeficientes. El R^2 ajustado se prefirió al más usual R^2 , ya que elimina el efecto del número de variables consideradas (el R^2 tiende a aumentar al ser mayor el número de variables) (Gujarati, 1983).

Derivaciones económicas

De la mejor función de producción desde el punto de vista estadístico, se han tratado tres ítems fundamentales (Dillon, 1977):

a) Producto marginal (PMg): definido como la primera derivada de la función de respuesta, con respecto al nitrógeno (N).

$$PMg\ N = \partial Y / \partial N$$

b) Producto máximo (PMax): el cual se logra cuando el PMg = 0.

c) Máximo Beneficio (MBf): el cual normalmente se produce a dosis inferiores a las de rendimiento máximo, cuando el PMg del factor considerado, igual a la razón inversa de los precios.

$$\partial Y / \partial N = \text{precio N} / \text{precio Y}$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Pergamino

Ajuste estadístico

En los modelos cuadráticos, los R^2 ajustados explican no más del 50% del total de la variación de rindes. Téngase en cuenta que se trata de ecuaciones predictivas, donde sólo se incluyen las variables conocidas al momento de decidir la fertilización.

Cuadro N° 1: Características de los ensayos de Pergamino - Campaña 80/81 a 83/84.

VARIABLE	UNIDAD	FROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	σ	C.V.
RINDE	qq/ha	72,5	97	35	12,601	17,38
DOSIS N	kg N/ha	60,0	120	0	48,107	80,18
DOSIS P	kg F05/ha	17,4	60	0	27,105	158,11
ANTECESOR		0,36	1	0	0,4810	132,29
A.AGRICUL.	años	8,48	30	0	8,2943	97,75
NITRATOS	ppm	87,18	170	19	40,290	46,22
FOSFORO	ppm	16,23	35	5,2	7,248	44,67

Cuadro N° 2: Características de los ensayos de FAUBA - Campañas 80/81 a 84/85.

VARIABLE	UNIDAD	FROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	σ	C.V.
RINDE	qq/ha	60,03	93	22	15,602	25,99
DOSIS N	kg N/ha	47,4	120	0	38,511	81,20
DENSIDAD	pl/ha	57013	80000	40300	7693,1	13,49
ANTECESOR		0,42	1	0	0,4930	118,32
A.AGRICUL.	años	8,92	30	2	4,8606	54,49
NITRATOS	ppm	80,33	180	27	39,105	48,68
FOSFORO	ppm	18,12	87	9,7	17,969	99,17
PREC.barb.	mm	136,00	310	30	67,970	49,98

Existen sólo dos variables que siempre se presentan como altamente significativas ($p=0,01$); son ellas nitratos a la siembra de 0-20 cm y años de agricultura continuada. La inclusión de ellas y el N lineal y cuadrático, con las respectivas interacciones, genera R^2 ajustados de 0,496, que solamente puede ser mejorado a 0,5014 con la inclusión del cultivo antecesor (leguminosa o no leguminosa). El agregado de cualquiera de las otras variables predictivas, no mejora ni los resultados de R^2 , ni el valor de F, como así tampoco disminuyen el desvío estándar de la regresión.

Las características de la función considerada de mejor ajuste pueden verse en el Cuadro N° 3, donde se re-

sumen los modelos de mejor ajuste de las diversas fuentes y formas algebraicas consideradas.

Al ajustar las regresiones con la forma Raíz cuadrada, las variaciones de R^2 ajustado, F y s, son muy pequeñas. El mejor modelo Raíz cuadrada, resultó con idénticas variables que el cuadrático (Cuadro N° 3).

La diferencia de forma entre funciones puede verse en la Figura 1 donde se observa que el modelo raíz cuadrada, presenta una curva más suave que el cuadrático, con una elevación más rápida ante pequeños agregados de nitrógeno, y menor pendiente luego, sin que, dentro del rango de valores de nitrógeno ensayados, se manifieste la máxima producción física.

Localización	FERGAMINO		FAUBA		
Modelo	CUADRATICO	RAIZ	CUADRATICO	RAIZ	CUBICO
n	231	231	176	176	176
R ² ajustado	0,5014	0,4998	0,2494	0,2731	0,2475
s	891,74	893,11	1355,55	1334,03	1357,29
F	34,04	33,84	10,67	11,96	9,22
b ₀	6578,92 (21,629)	6578,04 (21,550)	4281,19 (9,792)	4235,68 (10,250)	4255,96 (9,692)
N	24,74 (4,176)	-0,085 (0,015)	12,05 (1,279)	19,43 (1,796)	24,39 (1,266)
JN		136,62 (2,563)		-35,97 (0,388)	-0,258 (0,618)
N ²	-0,1049 (2,698)		0,0446 (0,629)		
NCUBO					0,0018 (0,734)
NO ₃	8,359 (3,131)	8,305 (3,107)	20,589 (4,801)	19,827 (5,042)	20,540 (4,783)
AA	-86,57 (7,929)	-87,07 (7,965)	-65,14 (2,964)	-64,90 (3,005)	-64,83 (2,946)
Ant	230,77 (1,825)	230,39 (1,819)			
Lluvia barb.			2,670 (2,319)	3,923 (2,890)	2,661 (2,308)
N x NO ₃	-0,0600 (1,846)	-0,0593 (1,821)	-0,1013 (1,449)	-0,0663 (1,445)	-0,1006 (1,437)
N x AA	0,0753 (0,655)	0,0834 (0,725)			

Nota: el valor que figura entre paréntesis debajo de cada coeficiente b, es el del estadístico t correspondiente.

N = nitrógeno aplicado (Kg de N/ha); NO₃ = nitratos a la siembra de 0 a 20 cm (ppm); AA = años de agricultura; Ant = antecesor (leguminosa = 1; no leguminosa = 0); Lluvia barb. = precipitaciones 90 días antes de la siembra (mm).

Derivaciones económicas

Modelo cuadrático

* **PMg**: el modelo elegido postula que la **PMg** del N depende no sólo de la dosis empleada, sino también del contenido de nitratos del suelo y los años de agricultura. Únicamente el N (insumo sobre el cual la decisión debe ser tomada) tiene precio.

$$\delta Y / \delta N = 24,74064 - 0,20982 N + 0,075533 AA - 0,06 NO_3$$

* **PMax**: para valores medios de las variables, el rinde máximo se obtendría, de acuerdo a la función de producción seleccionada, con 96 kg de N/ha.

* **MBf**: suponiendo una relación de precios fertilizante/grano (r) igual a 10, se observa en el Cuadro N° 4, que para un amplio rango de condiciones de fertilidad del suelo y años de agricultura (promedio $\pm 1\sigma$) de las dosis de N oscilan entre 34 kg N/ha para el caso de las que salen de pradera y con alto contenido de nitrógeno asimilable, hasta 63, para los suelos chacareados durante 16 años sucesivos y con contenido de nitratos pobre en capa arable. El valor de Mb más alto se obtiene en el caso de la menor dosis aplicada, correspondiente al suelo más rico y descansado de los propuestos. Esto significa que para el productor será mucho más rentable manejar con rotaciones su campo, que aplicar fertilizante, ya que de ese modo obtendrá mayores ganancias, incurriendo en menores costos.

Cuadro N° 4: Máximo Beneficio para distintas situaciones de años de agricultura y contenido de nitratos en Pergamino - Modelo Cuadrático.

NO3 ppm	AA	Dosis de MBf * kg N/ha			Rinde con * qq/ha			MBf (1) qq/ha		
		0	8	16	0	8	16	0	8	16
47		57	60	63	78	73	66	75	68	60
87		45	48	51	80	73	67	75	68	62
127		34	37	40	81	75	69	80	71	64

(1) Se considera beneficio a la diferencia entre el ingreso total y el costo de la fertilización, considerando que el resto de los costos son indirectos. No se comete gran error al hacerlo debido a la similitud en las prácticas de manejo aplicadas.

Cuadro N° 5: Máximo beneficio para distintas situaciones de años de agricultura y contenido de nitratos en Pergamino - Modelo Raíz Cuadrada.

NO3 ppm	AA	Dosis de MBf * kg N/ha			Rinde con * qq/ha			MBf qq/ha		
		0	8	16	0	8	16	0	8	16
47		28	31	35	76	69	63	73	66	58
87		20	22	24	78	71	65	76	69	62
127		15	16	18	80	74	67	79	72	65

Modelo Raíz cuadrada

* PMg:

$$\hat{Y} / \hat{N} = -0,08528 + 68,3101 N + 0,08342 AA - 0,05926 NO3$$

*PMax:

$$N = (68,3101 / (0,08528 - 0,08342 AA + 0,05926 NO3))^2 = 223 \text{ kg N/ha}$$

Se trata de un valor muy superior al que indica la función cuadrática.

* MBf:

$$N = (68,3101 / (10,08528 - 0,08342 AA + 0,05926 NO3))^2$$

Dada la diferencia de las formas algebraicas, y debido a que las dosis óptimas están en rangos bajos de N aplicado, es que el modelo Raíz cuadrada predice dosis considerablemente menores (Cuadro N° 5). Podría decirse que este modelo predice dosis con $r=10$, similares al cuadrático con $r=14$ (Pena, 1988b). Al comparar estas dos situaciones se observa que con bajos contenidos de nitratos, las dosis son menores en aproximadamente 10 kg N/ha; a altos contenidos, son prácticamente coincidentes. El beneficio máximo presenta diferencias no mayores a 2 qq/ha.

Para obtener una medida del error de predicción, se comparan los rindes predichos (\hat{Y}), con los reales (Y). La recta diagonal (LPP), es la llamada línea de las predicciones perfectas, pues une los puntos en que el rinde real, coincide con el rinde predicho, por lo cual el error de predicción es nulo (Theil, 1966). En la Figura 2 se observa que para bajos valores de rendimientos, la forma Raíz cuadrada se acerca más a lo ocurrido en la realidad que la cuadrática. A altos rindes, la Raíz cuadrada tiende a predecir valores menores a los reales, por lo que es una función apta para ser utilizada con productores con aversión al riesgo, quienes por lo tanto, obtendrán mejores rendimientos que los que esperaban, volviendo a utilizar seguramente, los servicios de los métodos de diagnóstico.

FAUBA

Ajuste estadístico

Los R^2 ajustados, son menores que en Pergamino, explicando, en el mejor de los casos, menos del 25% del total de la variación. Esto llama la atención considerando que los ensayos son más homogéneos en los valores de las variables medidas.

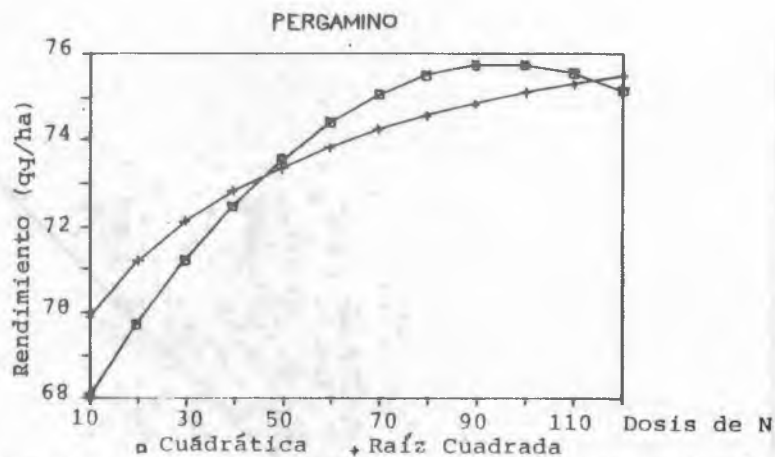


Figura 1: Rendimiento predicho por distintas formas algebraicas en función de la dosis de N. Datos de Pergamino.

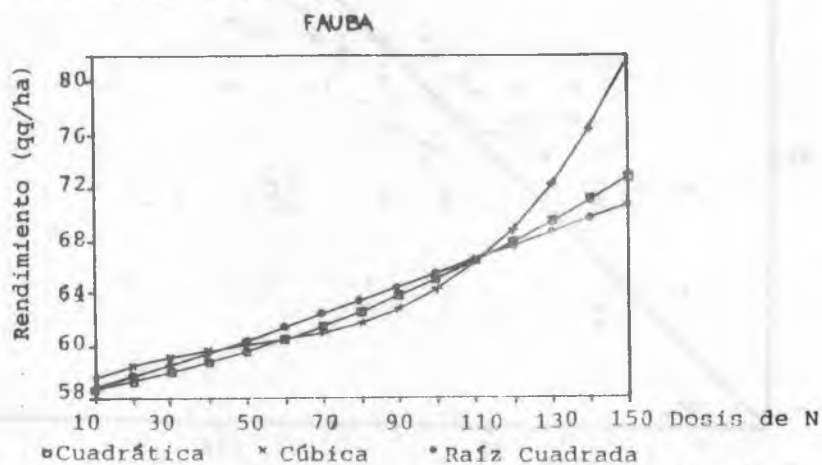


Figura 3: Rendimiento predicho por distintas formas algebraicas en función de la dosis de N. Datos de FAUBA.

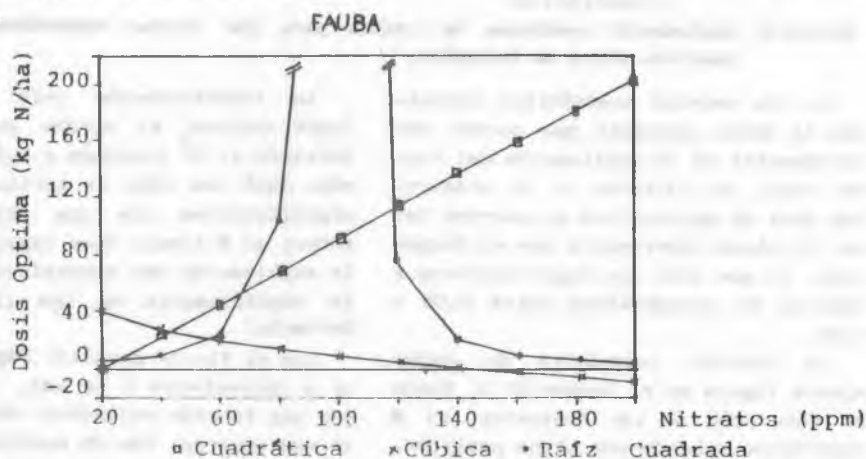


Figura 4: Dosis óptima para diferentes formas algebraicas. Datos de FAUBA.

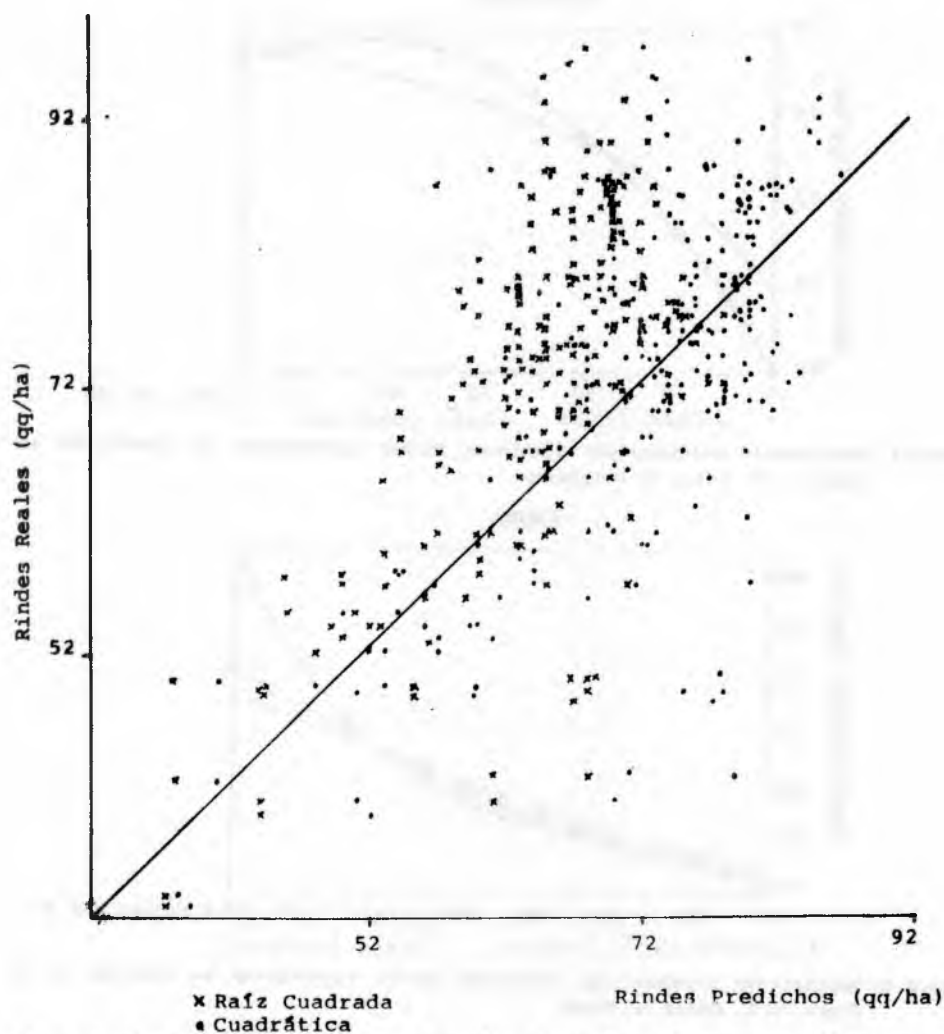


Figura 2: Rendimiento predichos vs reales para las formas cuadrática y raíz cuadrada. Datos de Pergamino.

En los modelos cuadráticos obtenidos la única variable que parece ser fundamental en la explicación del rinde final, es nitratos a la siembra. Los años de agricultura no parecen tener la misma importancia que en Pergamino, ya que sólo son significativos a valores de probabilidad entre 0,05 y 0,25.

La función cuadrática de mejor ajuste figura en el Cuadro N° 3. Tanto en ella como en las restantes, el N cuadrático aparece con signo positivo, indicando PMg creciente, y sin significancia estadística (tampoco la presenta el N lineal).

La transformación raíz cuadrada, logró mejorar el ajuste estadístico subiendo el R^2 ajustado a 0,2731. Además, aquí los años de agricultura son significativos con una probabilidad menor; el N lineal toma importancia en la explicación del rendimiento, y sube la significancia de las lluvias en barbecho.

Con el fin de permitir PMg creciente y decreciente a la vez, se ajustó con una función polinomial cúbica. Este sin embargo, fue de características inferiores (desde el punto de vista estadístico) tanto a la ecuación cuadrática como a la Raíz cuadrada.

Cuadro N° 6: Máximo Beneficio para distintos contenidos de nitratos en FAUBA con las tres formas algebraicas consideradas.

NO3 ppm	Dosis de MBf * kg N/ha			Rinde con *			MBf qq/ha		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
27	8	7	34	47	47	50	46	46	46
37	19	9	29	50	50	51	48	49	48
76	63	70	15	61	62	57	54	55	55
115	108	128	6	70	71	63	59	58	63
179	180	5	-7	81	77	74	63	76	73

A = modelo cuadrático; B = modelo Raíz cuadrada; C = modelo cúbico.

La comparación de la forma de los tres modelos, para valores medios de las variables puede verse en la Figura 3. Los rindes predichos son muy similares, a excepción de la forma cúbica, donde por encima de los 120 kg N/ha se produce una separación marcada de las otras dos funciones.

Derivaciones económicas

* PMg: en las tres formas algebraicas propuestas, es sólo dependiente de el contenido de nitratos a la siembra.

Mod. cuadrático: $\delta Y / \delta N = 12,05455 + 0,0892 N - 0,10134 NO_3$

Mod. Raíz cuad.: $\delta Y / \delta N = 19,43408 - 17,98625 / \sqrt{N} - 0,09587 NO_3$

Mod. cúbico: $\delta Y / \delta N = 24,39154 - 0,51956 N + 0,0525 N^2 - 0,10062 NO_3$

* **Producto máximo:** en todos los casos, los modelos postulan un aumento de rinde al incrementar la dosis de N, que se produce infinitamente.

- En la forma cuadrática, por tener rendimientos marginales crecientes, la ecuación no tiene máximo sino mínimo (parábola invertida).

- En la forma Raíz cuadrada ocurre algo similar, presentando mínimo a 2 kg N/ha.

- En la forma cúbica, la resolución del máximo conduce a un número imaginario.

* Máximo beneficio

Al comparar las dosis de máximo beneficio, para diversos valores de nitratos se observa que el modelo Raíz cuadrada es el de mejor R^2 , pero sin embargo dista mucho de ser el más "lógico" en cuanto a las dosis óptimas que recomienda aplicar. Algo similar ocurre con el cuadrático, donde a mayor contenido de nitratos en el suelo, se predice también mayor dosis de N para alcanzar el óptimo.

La forma cúbica, de peor ajuste estadístico, es la que sin embargo presenta resultados coherentes, y además con dosis no demasiado diferentes a las propuestas por el modelo Raíz cuadrada de Pergamino (Figura 4).

El valor de nitratos a partir del cual no conviene fertilizar (dosis óptima igual a cero), es inferior que en Pergamino (nótese en el Cuadro N°6) que para 179 ppm de nitratos, la dosis es negativa). El rinde "tope" de respuesta al N (del suelo con o sin nitrógeno adicionado) estaría alrededor de los 70 qq/ha, valor que posiblemente esté determinado por las características genéticas del material utilizado.

CONCLUSIONES

1) El análisis estadístico detectó la influencia de dos factores fundamentales en la predicción del rinde de maíz: los años de agricultura del lote y el contenido de nitratos de 0 a 20 cm. Llama la atención que siendo este último un parámetro altamente variable con las condiciones climáticas, sea tan buen predictor de la cantidad de grano a obtener.

Las dos variables nombradas tienen un valor de predicción muy alto en los ensayos de INTA Pergamino. En FAUBA

son también las de mayor importancia pero generan ajustes estadísticos mucho más bajos. Aquí no se mejoran aceptablemente las ecuaciones predictivas al adicionar las restantes variables consideradas, indicando ello que el rinde está influenciado por factores que no han sido tratados en este análisis.

2) La forma algebraica de la función de producción predictiva, tiene gran influencia en la dosis a recomendar como óptima desde el punto de vista económico. En INTA Pergamino, el modelo cuadrático predijo con $R=10$, dosis similares al raíz cuadrada con $r=14$. Este último parece predecir en forma "más adversa al riesgo" que el primero. Las dosis surgidas de los modelos de FAUBA, son menores que las de Pergamino. Para determinar cuál de los modelos se adecua más a la realidad, deberían complementarse los métodos de diagnóstico con estudios sobre el valor de la información proporcionada por ellos (Doll, 1972; Perrin, 1976; Pena, 1988a)

3) El mejor ajuste estadístico no necesariamente es el que predice en modo más adecuado. En FAUBA con los modelos Raíz cuadrada y cuadrático, se concluyen "irracionalidades" tales como que a mayor fertilidad actual del suelo, mayor debe ser la dosis óptima. Estos problemas no surgen en el análisis clásico sobre diagnóstico de fertilización pero sí al estudiar económicamente la información a través del análisis marginal. Téngase en cuenta que aquí se han considerado sólo las formas algebraicas recomendadas por la bibliografía por la adecuación al fenómeno de fertilización. El uso de otros modelos, de quizás mejor ajuste estadístico pero menos "lógicos", puede conducir a mayores incongruencias.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Ing. Agr. Rodolfo G. Frank, por la lectura crítica del presente trabajo y sus valiosas recomendaciones.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ANDERSON, J.L. 1956. A comparison of discrete and continuous models in agricultural production analysis. In Baum, E., Heady, E. and Blackmore, J. Eds. *Methodological Procedures in the Economic Analysis of Fertilizer Use Data*, p. 39-61. Iowa State College Press, Ames, Iowa.
- 2) ANDERSON, R.L. and L.A. NELSON. 1971. Some problems in the estimation of single nutrient response functions. *Bull. Int. Statist. Insti.* 44, part 1, 203-22.
- 3) BARBERIS, L.A.; E. CHAMORRO y C.W. VOLLERT (Coordinadores) 1985. Análisis de resultados del Plan maíz. Informe inédito Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes U.B.A.
- 4) CADY, F. and R. LAIRD. 1973. Treatment design for fertilizer use experimentation. *Research Bulletin* N° 26. CYMMT, México, D.F..
- 5) DILLON, J.L. 1977. The Analysis of Response in Crop and Livestock Production. (2da. ed.) Oxford, Pergamon Press.
- 6) DOLL, J.K. 1972. Obtaining preliminary Bayesian estimates of the value of a weather forecast. *Amer. J. of Agr. Econ.* 53:651-655.
- 7) GUJARATI, D. 1983. *Econometría básica*. Ed. Mc Graw-hill Latinoamericana.
- 8) HEADY, E.O. and J.L. DILLON. 1961. *Agricultural Production Function*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- 9) PENA, B.S. 1985. Dinámica del nitrógeno en el cultivo de maíz. Informe final de beca de CONICET. (Inédito) Cátedra de Administración FAUBA.
- 10) PENA, B.S. 1988a Fertilización de maíz en Argentina: causas no exploradas del bajo consumo de nitrógeno. *Serie Cátedra de Administración Rural* N° 25.
- 11) PENA, B.S. (1988b) Fertilización nitrogenada de maíz: evaluación de su conveniencia y riesgo. *Serie Cátedra de Administración Rural* N° 28. En prensa.
- 12) PERRIN, R. 1976. The value of information and the value of theoretical models in crop response research. *Amer. J. Agr. Econ.* 58:54-61.
- 13) SENIGAGLIESI, C.; R.GARCIA y M. GALETTO. 1984. Evaluación de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada y fosfatada en el área centro norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. III Congreso Nacional de Maíz. Pergamino.
- 14) THEIL, H. (1966). *Applied Economic Forecasting*. North Holland Publishing Co. Amsterdam.